도시철도 승강장 스크린 도어의 풍압 안정성 해석

The Wind Pressure Stability Analysis of the Platform Screen Door in Urban Railway

송문석¹ · 이승일^{1†}

Moon-Shuk Song · Seung-Il Lee

Abstract Installation of screen doors at platform ensures safety of passengers by separating platform from tracks. Besides, it reduces drought and air pressure caused by train conserves heating and cooling energy in the station. In order to guarantee safety of platform screen doors, design considering evaluation of wind pressure requires. In this study, Sosa station, semisealed screen door and EMU are analyzed to estimate the wind pressure of platform screen doors model. Also Sosa station is influenced by climatic condition because it exposed to outside. Therefore, analysis on the wind pressure of platform screen doors is performed under the worst weather condition such as typhoon. The results of analysis, Maximum inside pressure 287 Pa, and consideration of outside pressure as typhoon to the maximum design pressure of 865 Pa 2756.25 Pa conditions approximately 3.1 times the difference can be seen that ensure stability.

Keywords : Platform screen door, Wind pressure, Stability analysis

초 록 스크린 도어는 승강장에 설치하여 차량운행에 의한 승객의 안전을 확보하고, 승강장 내 공기질을 확보를 통한 쾌적함을 유지하며, 냉난방 에너지를 줄임으로써 다양한 효율성을 확보하고 있다. 이러한 스크린 도어의 안정성을 확보하기 위해서는 내풍압 평가를 고려한 설계가 필요하다. 본 연구에서는 승강장 스크린 도어의 내풍압을 예측하기 위하여 소사역사, 반밀폐형 스크린 도어, 전동차를 모델링하고 해석을 수행하였다. 또한 소사역은 지상역으로 외부에 노출되어 있기 때문에 기후조건에 영향을 받게 된다. 따라서 최악의 기후조건인 태풍의 영향을 고려하여 해석을 수행하였다. 해석결과, 최대 내풍압은 287 Pa이고, 외풍압을 고려한 최대압력은 865 Pa로 설계조건은 2756.25 Pa보다 약 3.1배 차이로 안정성이 확보됨을 알 수 있다.

주요어 : 승강장 스크린 도어, 풍압, 안정성해석

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

대도시 중요 교통수단인 전동차는 도심 유동 인구를 신속하고 안전하게 이동하는 주요 수단으로 사용되고 있으며, 이를 위한 다양한 편의시설을 확충하고 있다. 최근 도시철도 승강장 내 먼지 및 소음발생 문제로 인하여 승객의 불쾌감이 발생하고 있으며, 이를 차단하기 위해 승강장 내 스크린 도어(platform screen door : PSD)를 설치하고 있다.

스크린 도어는 승강장에 설치하여 차량 운행에 의한 승객의 안전을 확보하고, 승강장 내 공기질을 확보를 통한 쾌적함을 유지하며, 냉난방 에너지를 줄임으로써 다양한 효율성을 확보하고 있다. 이러한 스크린 도어의 설치를 위해서는 역사 내 다양한 환경요인을 고려하여 설계되어야 한다. 현재 도시철도의 방음벽에 대한 구조성능 산정 및 평가와 소음실태에 대한 많은 연구는[1,2] 행하고 있으나, 승강장 스

크린 도어의 안정성 확보를 위한 내풍압 평가에 대한 연구는 미비한 상태이다.

본 연구에서는 승강장 스크린도어의 내풍압을 예측하기 위하여 경인선 소사역사, 반밀폐형 스크린도어, 전동차를 모델링하고 이에 대한 내풍압 해석을 수행 하였다. 또한 소사역은 지상역이라서 외부에 노출되어 있기 때문에 기후조건에 영향을 받게 된다. 따라서 최악의 기후조건인 태풍의 영향을 고려하여 해석을 수행하였다.

2. 해석모델 및 해석방법

2.1 승강장

내풍압은 열차 진·출입 시 발생하는 공기압을 말하며, 해석 시 역사내 시설 및 승강장 설비의 영향을 고려해야 한다[3,4]. Fig. 1은 국내 주요 승강장의 형태를 나타내며, 승강장 형태는 상대식, 쌍섬식, 섬식, 섬식+상대식으로 구분된다. 본 연구의 대상은 경인선 소사역으로 Fig. 2와 같이 쌍섬식 형태이다. 스크린 도어형태는 완전밀폐형, 반밀폐형, 난간형이 있으며, 소사역의 경우 반밀폐형이다.

[†]교신저자 : 한국철도대학 철도차량기계과
E-mail : leeyil@korea.com

¹한국철도대학 철도차량기계과

Fig. 1 Forms of platform

Fig. 2 Cross section of platform(Sosa station)

2.2 해석모델

경인선 소사역사의 승강장 길이는 210m, 폭은 8.1m, 높이 2.53m로, 전동차 길이는 200m로 모델링하였다. 전동차와 스크린 도어의 해석모델은 강체로 모델링 하였다. Fig. 3은 경인선 소사역과 차량의 풍압해석 모델 및 해석모델의 유체, 구조물 격자 모델이다.

Fig. 3 Wind analysis model of Sosa station

2.3 해석방법

승강장 스크린 도어에 대한 정적해석은 ANSYS등을 이용하여 스크린 도어 구조의 안정성을 검토 하였고[5], 3D모델에 대한 유동해석은 FLUENT등으로 이동격자방법(moving mesh method)에 의한 실제 열차 주행을 묘사하여 현실적인 결과를 도출하여 스크린 도어의 구조안정성 검토에 타당성을 검증 하였다[6,7].

본 연구에서는 전산해석을 위해 유체-구조물 상용해석 프로그램인 ADINA를 사용하였다. ADINA는 구조, 유체, 열해석이 가능한 유한요소해석 프로그램으로 높은 정확도를 보이며, 특히 유체와 구조물이 상호 연성된 FSI(fluid structure interaction)해석이 용이하다는 강점을 가지고 있다. Fig. 4는

해석모델을 나타내고 있다. 전산해석에 사용된 지배 방정식은 기본적인 연속방정식과 운동량 보존방정식을 사용하였고, 난류방정식은 $k-\epsilon$ 난류 에너지방정식과 난류소산 방정식을 적용하였다. 강체 차체의 움직임은 이동격자방법(moving mesh method)을 사용하였으며, 이동격자 방법은 계산 공간 내의 변화되는 경우 사용된다. 본 연구에서는 열차에 의한 내풍압과 PSD가 접하는 면이 시간에 따라 바뀌므로 이를 고려하여 계산을 수행하였다.

Fig. 4 Analysis model

3. 풍압해석

3.1 주행 조건별 해석

해석조건은 Table 1과 같이 4가지 경우로 구분하여 해석하였다.

Table 1 Analysis condition

Case	Analysis condition
1	High speed line electric car pass(1 train)
2	High speed line electric car pass(2 train crossing)
3	General line electric car stop(1 train)
4	General line electric car start(1 train)

3.1.1 Case 1[고속선 전동차 통과(1편성)]

경인선 소사역의 중앙선로는 직행 전동차의 진출입 선로로서 차량이 정차 및 미정차 통과할 수 있는 선로이다. 정차 및 미정차시 스크린도어의 압력분포는 열차의 속도에 비례함으로 미정차시 해석조건이 정차 시에 비하여 가혹한 조건이다. 일반적으로 미정차 통과는 70~80km/h의 속도로 통과하며, 본 해석에서는 80km/h의 속도로 전동차가 고속선을 통과하는 조건과 고속선 반대 선로에는 열차가 정차하지 않는 조건으로 해석 하였다. Fig. 5는 고속선 전동차 통과 해석 시 사용된 선로 및 전동차 모델을 나타내고 있다.

3.1.2 Case 2[고속선 전동차 통과(2편성 교행)]

해석조건Case 2는 Case 1과 동일한 전동차 통과조건과 더불어 고속선 반대선로에 전동차가 정차되어 있는 조건을 추가하여 해석을 하였다. Fig. 6은 Case 2의 해석 시 사용된 선로 및 전동차 모델을 나타내고 있다.

Fig. 5 High speed line electric car passing(1 train)

Fig. 6 High speed line electric car passing(2 train crossing)

Fig. 7 General line electric car stop(1 train)

Fig. 8 General line electric car start(1 train)

3.1.3 Case 3[일반선 전동차 정차(1편성)]

해석조건Case 3은 전동차가 일반선로를 통해 역사로 진입하여 정차하는 과정 중 승강장 스크린 도어에 발생하는 압력을 예측하기 위한 것으로 Fig. 7과 같은 모델을 사용하였다.

3.1.4 Case 4[일반선 전동차 출발(1편성)]

해석조건Case 4는 일반선로에 정차된 전동차가 출발하는 과정 중 승강장 스크린 도어에 발생하는 압력을 예측하기 위한 것으로 Fig. 8과 같은 모델을 사용하였다.

3.2 해석 결과

3.2.1 Case 1[고속선 전동차 통과(1편성)]

해석조건Case 1에 대하여 내풍압 해석을 수행 하였다. Fig. 9는 고속선을 통과하는 전동차에 의해 발생하는 스크린도어의 압력분포를 나타내고 있다. Fig. 9에서의 압력 측정점은 전동차가 승강장 정 중앙 통과 시 통과선로 스크린 도어의 3개 위치(출입문의 상, 중, 하)에서 측정하여 각 지점의 압력을 평균하여 나타내었다. Fig. 10은 해석 조건case 1에서의 시간에 따른 스크린 도어의 압력 변화를 나타내고 있다. 해석결과, Fig. 10에서와 같이 최대압력 212Pa이 발생하였으며, 전동차 이탈 후 급격히 낮아짐을 확인할 수 있다.

Fig. 9 Pressure distribution of High speed line electric car (1 train) passing screen door

Fig. 10 Pressure distribution of screen door(Case 1)

3.2.2 Case 2[고속선 전동차 통과(2편성 교행)]

Fig. 11은 전동차가 고속선 통과 시 반대선로에 전동차가 정차할 경우에 발생하는 압력분포를 나타내고 있다. 압력 측정점은 Case 1과 동일한 위치와 반대편 스크린도어 각각을 측정하였다. 해석결과, Fig. 12와 같이 진입 시 가장 큰 압력이 발생하였으며, 최대압력은 287Pa를 나타냈으며, 전동차 진입 후 9 초 지난 시점에서(약 10.5 초 부근) 전동차 이탈 후 급격히 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 반대 선로의 경

Fig. 11 Pressure distribution of High speed line electric car (2 train crossing) passing screen door

Fig. 14 Pressure distribution of screen door (Case 3)

Fig. 12 Pressure distribution of screen door (Case 2)

우 전동차 정차 시 응답이 상대적으로 늦게 발생함을 알 수 있다.

3.2.3 Case 3[일반선 전동차 정차(1편성)]

Fig. 13는 일반선에 전동차가 진입하여 정차한 경우에 발생하는 압력분포를 나타내고 있다. 내풍압은 전동차의 속도가 고속으로 진입 시 가장 크게 발생됨으로 열차 진입 위치의 스크린 도어에서 측정하였고, 측정 시 일반선은 가장

Fig. 13 Pressure distribution of general line electric car (1 train) stop screen door

Fig. 15 Pressure distribution of general line electric car (1 train) starting screen door

Fig. 16 Pressure distribution of screen door(Case 4)

자리에 있으므로 1개 위치에서 측정하였다. 해석결과, Fig. 14와 같이 진입 시 가장 높은 압력이 발생하며, 최대 압력은 157Pa를 나타냈으며, 전동차 진입 후 정차 시까지 낮아짐을 확인할 수 있다.

3.2.4 Case 4[일반선 전동차 출발(1편성)]

Fig. 15는 일반선에 정차한 전동차가 출발한 경우에 발생

되는 압력분포를 나타내고 있다. 풍압은 전동차의 승강장 이탈속도가 가장 빠른 위치인 진행방향 마지막 스크린 도어에서 측정하였고, 측정 시 해석조건Case 3과 같이 1개 위치에서 측정하였다. 해석결과, Fig. 16과 같이 전동차 출발 이후 압력분포가 낮은 진폭을 보이다가 열차 이탈 시 음압력이 발생함을 확인할 수 있다. 이는 열차 최후부 통과 시 열차쪽으로 흡입하는 방향의 열차풍이 발생하는 현상이며, 이러한 원인으로 차량 통과 직후 스크린 도어의 압력이 음의 방향을 갖는다. 이때 최대 음압력은 -75Pa이다.

3.3 외풍압 적용 해석

경인선의 주요 선로는 지상구간으로 구성되어 있으며, 외풍압에 노출되어 있다. 특히 하계 태풍의 영향을 많이 받을 수 있으므로 설계 시 외풍압에 대한 고려가 요구된다. Table 2는 국내 태풍 등급을 나타내며, 일반적으로 30m/s 풍속을 갖는 것을 알 수 있으며, 최근 기후변화에 따른 슈퍼태풍의 등장으로 순간 풍속 최대 60m/s를 기록하기도 하였다. 본 연구에서는 국토해양부 고시 제 2009-640호에서 제시한 순간 풍속(지상) 50m/s를 적용하여 스크린 도어에 작용하는 내풍압을 해석 하였다. Fig. 17는 내풍압을 적용한 모델이며, 이때 최대압력이 발생하는 해석조건Case 2의 모델을 기반으로 하였다. 해석결과 Fig. 18과 같이 외풍압 작용 시 스크린 도어의 압력분포를 확인할 수 있으며, 열차풍만 적용했을 경우와 달리 승강장 전면에 압력이 발생하고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 19는 해석조건Case 2의 측정위치와 동일한 위치에서 시간변화에 따른 압력분포를 나타내고 있다. 이 때 최대압력은 865Pa이 작용하고 있음을 알 수 있다. Fig. 20은 열차 진입 후 중앙 교차 시 까지 각 스크린 도어의 최

대풍압을 계산한 결과이며, Fig. 20에서와 같이 5번 도어의 압력이 최대로 발생함을 확인하였다.

Table 3은 승강장 스크린 도어에 대한 내외풍압의 해석 결과를 나타내고 있다.

Fig. 18 Pressure distribution of out wind pressure application screen door(wind pressure application)

Fig. 19 Pressure distribution of screen door on time

Fig. 20 Maximum pressure of screen door type (wind pressure application)

Table 2 Typhoon grade

Grade	Maximum wind velocity(m/s)	Magnitude(km)
strength	33 ~ 44	800 ~
middle class large	25 ~ 33	500 ~ 800
medium	25 ~ 33	300 ~ 500
small	25 ~ 33	~ 300
weakness	17 ~ 25	-

Fig. 17 Wind pressure analysis model of out wind pressure application

Table 3 Maximum pressure of platform screen door according to analysis condition

Case	Analysis condition	Maximum pressure(Pa)	Design condition
1	High speed electric car pass (1 train)	221	2756.25Pa
2	High speed electric car pass (2 train crossing)	287	
3	General line electric car stop (1 train)	157	
4	General line electric car start (1 train)	-75	
5	wind pressure application (case 2)	865	

4. 결 론

본 연구는 1호선 경인선 소사역의 스크린도어에 대한 내풍압 및 외풍압 해석을 각 환경에 대하여 수행하고, 풍압분포를 예측하였다. 해석결과를 정리 하면 다음과 같다.

(1) 최대 내풍압 발생조건은 고속선 열차 주행 시 발생하며, 크기는 287Pa이다.

(2) 외풍압을 고려한 최대 압력은 865Pa이며, 진입 후 5번 스크린 도어에서 최대압력이 발생하였다.

(3) 설계조건은 2756.25Pa로서 예측값 865Pa 보다 3.1배 차이로 안전함.

본 해석에서는 열차의 승강장 통과, 정차, 출발 시에 대하여 각각 해석을 통하여 풍압을 예측하였으며, 각 풍압해석 결과 중 가장 큰 값이 도출된 모델을 바탕으로 외풍압을 적용하여 해석한 결과 안정성이 확보됨을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] H.S. Kim, G.P. Park, M.T. Lee, G.D. Moon (2004) Actual Noise Condition of the Subway Station in Gwang-ju City, *2004 Symposium Autumn of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 934-937.
- [2] J.W. Yoon, J.I. Park, H.O. Kwon, Y.C. Kim, D.H. Kim (2001) The Structural Performance Estimation and Assessment of Noise Barrier by Wind Pressure, *2001 Symposium Autumn of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 150-154.
- [3] D.W. Kim, J.M. Kim, S.J. Joo, J.H. Park (2009) Characteristics of Wind Pressure on the Platform Screen Door and Ceiling due to Train Wind, *Transactions of the Wind Engineering Institute of Korea*, 13(1), pp. 32-39.
- [4] Y.S. Kim, D.H. Kim, Y.H. Kim, K.B. Shin, E.G. Lee (2008) Unsteady Wind Pressure Analysis on PSD Considering Subway Station Configurations, *Journal of the Korean Society for Railway*, 11(1), pp. 13-18.
- [5] W.J. Chio, J.D. Jeon, J.H. Kim, G.H. Jeon (2006) The Investigation of Structural Safety on a PSD and PSD Testing Equipment using Finite Element Method, *2006 Symposium Autumn of the Korean Society for Machine Engineering*, pp. 27-32.
- [6] J.Y. Lee, K.B. Shin, B.J. Ryu, J.S. Jeon, D.H. Kim, E.K. Lee (2006) Evaluation of the Structural Stability of Platform Screen Door, *2006 Symposium Autumn of the Korean Society for Railway*, pp. 7-14.
- [7] H.K. Jeong, M.Y. Ha, K.C. Kim, C.H. Jeon (2004) Simulation of Fluid Flow Inside the Subway Station with PSD, *2004 Symposium Autumn of the Korean Society for Machine Engineering*, pp. 1430-1435.

접수일(2011년 10월 17일), 수정일(2011년 12월 12일),
게재확정일(2012년 1월 17일)